

SKRIPSI

OPTIMASI SETTING MESIN CAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPON SURFACE (Studi kasus : PT. XYZ.)



Disusun Oleh:
Evelyn Dwi Lavinia (5303012007)

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK WIDYA MANDALA SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **"OPTIMASI SETTING MESIN CAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPONS SURFACE (Study kasus : PT. XYZ.)"** yang disusun oleh mahasiswa :

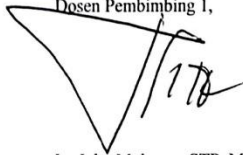
Nama : Evelyn Dwi Lavinia

NRP : 5303012007

Dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum jurusan Teknik Industri guna mengikuti sidang skripsi.

Surabaya, 14 Juli 2016

Dosen Pembimbing 1,



Ig. Joko Mulyono, STP.,MT.

NIK. 531.98.0325

Dosen Pembimbing 2,



Ivan Gunawan, S.T.,MMT

NIK. 531.15.0840

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "OPTIMASI SETTING MESIN CAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPON SURFACE (Study kasus : PT. XYZ,)" yang telah disusun oleh mahasiswa dengan :

Nama : Evelyn Dwi Lavinia
Nomor Pokok : 5303012007
Tanggal Ujian : 25 Juli 2016

Dinyatakan telah memenuhi sebagian persyaratan kurikulum jurusan Teknik Industri guna memperoleh gelar Sarjana Teknik bidang Teknik Industri.

Surabaya, 27 Juli 2016

Ketua Dewan Penguji,



Julius Mulyono, ST., MT

NIK. 531.97.0229

Dekan Fakultas Teknik,



Ir. Suryadi Ismadji, MT., Ph.D.

NIK. 521.93.0198

Ketua Jurusan Teknik Industri,



Ir. Jaka Mulyana, STP., MT.

NIK. 531.98.0325

LEMBAR PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya sebagai mahasiswa Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya dengan :

Nama : Evelyn Dwi Lavinia

NRP : 5303012007

Menyetujui skripsi/karya ilmiah saya dengan judul **"OPTIMASI SETTING MESIN CHAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPON SURFACE (Study kasus : PT. XYZ)"** untuk dipublikasikan/ditampilkan di internet atau media lain (Digital Library Perpustakaan Universitas Widya Mandala Surabaya) untuk kepentingan akademik sebatas sesuai dengan Undang-undang Hak Cipta.

Demikian pernyataan persetujuan publikasi karya ilmiah ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, Juni 2016



Evelyn Dwi Lavinia

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan skripsi dengan judul **"OPTIMASI SETTING MESIN CAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPONS SURFACE (Study kasus : PT. XYZ)"** ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya, kecuali dinyatakan dalam teks. Seandainya diketahui bahwa laporan skripsi ini ternyata merupakan hasil karya orang lain, maka saya sadar dan menerima konsekuensi bahwa laporan skripsi ini tidak dapat saya gunakan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Surabaya, 11 Juli 2016

Mahasiswa/i yang bersangkutan,



Evelyn Dwi Lavinia

NRP. 5303012007

KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**OPTIMASI SETTING MESIN CAMBERING PRODUK PARABOLIC LEAF SPRING DENGAN METODE RESPON SURFACE** (Studi Kasus : PT. XYZ.)”

Dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan-bantuan berbagai pihak yang terkait. Melalui kesempatan ini penulis selaku Mahasiswa Universitas Katolik Widya Mandala mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Suryadi Ismadji, MT., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
2. Bapak Ig. Joko Mulyono, STP.,MT, selaku ketua Jurusan Teknik Industri.
3. Bapak Martinus Edy S, ST., MT., selaku dosen penasehat akademik yang telah membimbing saya hingga akhir dan memberikan dukungannya.
4. Bapak Ig. Joko Mulyono, STP.,MT, selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan serta membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Ivan Gunawan, ST, MMT., selaku dosen pembimbing yang telah mengarahkan serta membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

6. Bapak Martinus Edy S, ST., MT., Bapak Julius Mulyono, ST.,MT, dan Ibu Dian Retno Sari Dewi, ST., MT, S selaku dosen penguji yang telah memberi koreksi dan masukan bagi penelitian yang dilakukan penulis.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Industri Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya yang telah memberikan ilmu kepada saya selama 4 tahun mencari ilmu.
8. Direktur Manufaktur dari PT. XYZ yang telah memberi ijin bagi penulis untuk mengadakan penelitian.
9. Seluruh karyawan HRD dari PT. XYZ yang telah memberikan dukungan berupa materi pembelajaran tentang PT. XYZ secara detail.
10. Pembimbing lapangan dari PT. XYZ yang telah membimbing penulis dalam melakukan penelitian.
11. Para karyawan produksi PT. XYZ yang telah memberi support dalam melakukan penelitian , wawancara dan observasi.
12. Pada karyawan Quality Control dan PPIC yang telah memberikan saya judul skripsi dan pembelajaran yang menarik mengenai PT.XYZ.
13. Orang tua yang senantiasa memberikan dukungan, doa dan materi dalam melakukan penelitian skripsi.
14. Saudara kembar (Erik Adi Santoso) dan adik kandung (Yolanda Kusuma Dewi) yang telah memberikan dukungan dan doa.
15. Seluruh keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa yang sebesar-besarnya.

16. Teman – teman jurusan teknik industri tahun ajaran 2012 yang telah memberikan dukungan dan doa.
17. Yessica, Clara, Maria agnes, Billy, Loviana, Fito, Andreas, Amsal, Merrynda, Sherly, Angelline, Ardhi, Ricky, George, Ezra, yang telah memberikan waktu, dukungan dan doa dalam melakukan pengerjaan penelitian.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan bagi para pembaca terutama mahasiswa Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Cover	i
Lembar Pernyataan Penulis	ii
Lembar Persetujuan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah	iv
Lembar Pengesahan Dewan Penguji	v
Halaman Kata Pengantar	vi
Halaman Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Rumus	xvii
Daftar Lampiran	xix
Halaman Abstrak	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Spring	7
2.2. Leaf Spring	7
2.3. Parabolic Leaf Spring	8
2.4. Bahan Baku	9
2.5. Bahan Penunjang	9
2.6. Bill Of Material	11

2.7. Proses Produksi	11
2.8. Hardening Baja	15
2.9. Mesin Cambering	16
2.10. Ketinggian Hasil Camber	17
2.11. Proses Tempering After Cambering	18
2.12. Uji Kekerasan	22
2.13. Proses Line Heating	23
2.14. Design Of Eksperimen	23
2.15. Prinsip Dasar DOE	25
2.16. Istilah Dalam DOE	31
2.17. Factorial Experiment	32
2.17.1. 2^k Faktorial Design	32
2.17.2. Rancangan Percobaan Faktorial Fraksional	35
2.17.3. Contour Plot Dan Response Surface	35
2.17.4. Rancangan Permukaan Respon Orde Pertama	36
2.18. Lack Of Fit	37
2.19. Metode Dakian Tercuram	38
2.20. Uji Kelengkungan	42
2.21. Rancangan Respon Orde Kedua	43
2.22. Karakteristik Permukaan Respon	44
2.23. Analisis Kanonik	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	54
3.1. Study Lapangan	56
3.2. Penyusunan Pre-Eksperimen	57
3.3. Variabel Penelitian	58

3.3.1. Variabel Bebas	58
3.3.2. Variabel Respons	59
3.4. Alat Dan Bahan	59
3.4.1. Alat	59
3.4.2. Bahan	59
3.5. Prosedur Penelitian	59
3.6. Karakteristik Kualitas	60
3.7. Metode Analisis	60
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	62
4.1. Ketinggian Hasil Camber	62
4.2. Pre-Eksperimen	62
4.2.1. Faktor Dan Level	63
4.2.2. Ketinggian Hasil Camber	64
4.2.3. Uji Analisa (ANOVA)	65
4.3. Response Surface Methods	68
4.3.1. Rancangan Permukaan Orde Pertama	68
4.3.2. Metode Dakian Tercuram	73
4.3.3. Rancangan Orde Pertama Yang Kedua	75
4.3.4. Rancangan Permukaan Orde Kedua	80
4.3.5. Uji IIDN Model Orde Kedua	87
4.4. Analisa Kananik	89
4.5. Validasi Model	96
BAB V ANALISA DATA	98
5.1. Surface Dan Contour Plot	98
5.2. Analisa Biaya	100

BAB VI KESIMPULAN SARAN	107
6.1. Kesimpulan	107
6.2. Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	109
JURNAL ILMIAH	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Struktur Data dan Model 2 Faktor untuk Desain Eksperimen Faktorial 2^2 dengan 4 Replikasi	33
Tabel 2.2. Rancangan Faktorial 2^2	34
Tabel 4.1. Kombinasi 2 Faktor dan 2 Level	57
Tabel 4.2. Ketinggian Camber dengan 2 Faktor & 2 Level	58
Tabel 4.3. Tabel ANOVA Faktorial Design	60
Tabel 4.4. Rancangan Permukaan Respons Orde Pertama	63
Tabel 4.5. Data Hasil Percobaan Orde Pertama	64
Tabel 4.6. Variabel Kode Taraf dan Variabel Bebas	64
Tabel 4.7. Data Hasil Percobaan Setelah Diberi Kode	65
Tabel 4.8. Tabel ANOVA regression coefficient for Y	65
Tabel 4.9. Analisis Varian (ANOVA) model Orde Pertama	66
Tabel 4.10. Tabel Hasil Percobaan Dakian Tercuram	69
Tabel 4.11. Data Hasil Percobaan untuk menduga Model Orde Pertama yang Kedua	70
Tabel 4.12. Data Hasil Percobaan Setelah Diberi Kode	71
Tabel 4.13. Tabel ANOVA regression coefficient for Y	72
Tabel 4.14. Tabel ANOVA model Orde Pertama Yang Kedua	73
Tabel 4.15. Rancangan Komposit Pusat untuk Menduga Model Orde Kedua	75
Tabel 4.16. Rancangan Komposit Setelah Diberi Kode	76

Tabel 4.17. Data untuk Menduga Parameter Model Orde Kedua	77
Tabel 4.18. Tabel ANOVA parameter Orde Kedua	78
Tabel 4.19. Tabel ANOVA model Orde Kedua	79
Tabel 5.1. Tabel Percobaan Mesin Camber dengan Temperature 921.87°C dan Waktu Press 2.25 Second	89
Tabel 5.2. Tabel Analisis Biaya dengan Metode Sensitivitas	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Parabolic Leaf Spring	9
Gambar 2.2. Bahan Baku Parabolic Leaf Spring	9
Gambar 2.3. Rebound Clip	9
Gambar 2.4. Spring Bolt dan Locknuts	10
Gambar 2.5. Center Bolt	10
Gambar 2.6. Spring Eye with Bush	10
Gambar 2.7. Silencer Pad	10
Gamabr 2.8. Bill of Material Produk Parabolic Leaf Spring	11
Gambar 2.9. Proses Produksi Perusahaan	14
Gambar 2.10. Gambar Mesin Cambering Bagian Depan	16
Gambar 2.11. Gambar Mesin Cambering Bagian Dalam	17
Gambar 2.12. Gambar Display Digimatic	17
Gambar 2.13. Gambar Alat Ukur Digimatic Height	18
Gambar 2.14. Grafik Pengaruh Panas pada Kekuatan Besi	20
Gambar 2.15. Grafik Baja AISI 50 pada proses Temper	21
Gambar 2.16. Model Umum Suatu Proses/Sistem	24
Gambar 2.17. Ilustrasi Permukaan Respon Orde Pertama dan Garis Steepest Ascent	41
Gambar 3.1. Flowchart Metodologi Penelitian	50
Gambar 4.1. Cara Mengukur Ketinggian Camber	56

Gambar 4.2. Interaction Plot Ketinggian Camber	61
Gambar 4.3. Main Effect Plots Ketinggian Camber	62
Gambar 4.4. Plot Peluang Normal	80
Gambar 4.5. Plot Autokorelasi	81
Gambar 4.6. Plot Y terhadap Galat	82
Gambar 5.1. Gambar Contour Plot of Y vs X1,X2	86
Gambar 5.2. Gambar Surface Plot of Y vs X1, X2	86
Gambar 5.3. Grafik Penurunan Total Produksi	93
Gambar 5.4. Grafik Penurunan Biaya Listrik	94

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1. Rumus Factorial Design	33
Rumus 2.2. Rumus A	34
Rumus 2.3. Rumus JKA	34
Rumus 2.4. Rumus B	34
Rumus 2.5. Rumus JKB	34
Rumus 2.6. Rumus AB	34
Rumus 2.7. Rumus JKAB	34
Rumus 2.8. Rumus Pendekatan Orde Pertama	36
Rumus 2.9. Rumus Variabel Kode	37
Rumus 2.10. Rumus JKT	38
Rumus 2.11. Rumus JKR	38
Rumus 2.12. Rumus JKG	38
Rumus 2.13. Rumus Derajat Bebas Galat	38
Rumus 2.14. Rumus JKGM	38
Rumus 2.15. Rumus Fungsi Orde Pertama	40
Rumus 2.16. Rumus Variabel Kode	40
Rumus 2.17. Rumus ΔX_i	40
Rumus 2.18. Rumus $\Delta \psi_i$	40
Rumus 2.19. Rumus JK kelengkungan	43
Rumus 2.20. Rumus Model Orde Kedua	43

Rumus 2.21. Rumus Turunan Parsial	45
Rumus 2.22. Rumus Regresi Orde Kedua	45
Rumus 2.23. Rumus X	45
Rumus 2.24. Rumus Persamaan Vektor	45
Rumus 2.25. Rumus X_s	46
Rumus 2.26. Rumus Y	46
Rumus 2.27. Rumus Fungsi Variabel Kanonik	46
Rumus 2.28. Rumus Nilai Eigen	47
Rumus 2.29. Rumus Variabel Kanonik W	47
Rumus 2.30. Rumus matriks M	47
Rumus 2.31. Rumus M_i	47
Rumus 4.1. Persamaan Regresi Orde Pertama	66
Rumus 4.2. Persamaan Orde Pertama Yang Kedua	73
Rumus 4.3. Persamaan Orde Kedua	79
Rumus 4.4. Rumus Analisis Kanonik	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengolahan Data Minitab Faktorial Design

Lampiran 2. Pengolahan Data Minitab Orde Pertama

Lampiran 3. Pengolahan Data Minitab Orde Pertama Yang Kedua

Lampiran 4. Pengolahan Data Minitab Orde Kedua

ABSTRAK

Mesin *Cambering* adalah mesin yang digunakan untuk melakukan proses pelengkungan leaf spring. Hasil dari mesin *cambering* dinamakan sebagai *camber out*. *Camber out* merupakan spesifikasi yang sangat penting untuk menentukan kualitas ketahanan suatu *parabolic leaf spring*. Penelitian ini menggunakan metode permukaan respons untuk mengoptimalkan variabel-variabel bebas yang dikaji agar diperoleh hasil *camber out* yang maksimum. Variabel bebas yang dikaji terdiri atas temperatur mesin (X_1) dan waktu press (X_2). Percobaan dengan struktur perlakuan faktorial 2^k dilaksanakan dalam tiga tahap di Laboratorium dan Lantai Produksi PT. XYZ. Percobaan pertama dengan perluasan pada titik pusat (menambah pengamatan lima ulangan) digunakan untuk menduga model respons orde pertama, percobaan kedua digunakan untuk menentukan daerah permukaan respons maksimum setelah hasil percobaan pertama dikaji menggunakan metode dakian tercuram, sedangkan percobaan ketiga ditata menggunakan rancangan komposit pusat dengan sifat ketelitian seragam digunakan untuk menduga model permukaan respons orde kedua. Penentuan kombinasi titik-titik stasioner untuk memperoleh permukaan respons maksimum diidentifikasi menggunakan analisis kanonik. Hasil penelitian menunjukkan model permukaan respons maksimum *camber out* adalah :

$$\hat{Y} = 125.340 + 0.739 X_1 + 2.008 X_2 + 1.074 X_1^2 + 0.370 X_2^2 - 0.589 X_1 X_2$$

Dari model tersebut permukaan respons maksimum *camber out* diperoleh pada titik – titik stasioner optimum yaitu : pada temperatur mesin 921.87°C dan waktu press 2.25s menghasilkan *camber out* sebesar 126.012mm.

Kata Kunci : desain eksperimen, metode permukaan respon, *parabolic leaf spring*, metode dakian tercuram, mesin *cambering*, optimasi, *camber out*, temperatur mesin, waktu press, Uji IIDN, Validasi Model, Analisa Kanonik.

ABSTRACT

Cambering machine is machine used to perform the process of leaf spring bending. The result of a Cambering Machine named as Camber Out . Camber Out constitute of specification that is essential for determining the quality of resistance of a parabolic leaf spring. This research using methods of a surface response for optimizing free variables examined so that obtained the results of maximum Camber Out. Free Variable examined consists of machine's temperature (X_1) and Press Time (X_2). Experiment with treatment structure factorial 2^k held in three phases in the laboratory and the production of PT. XYZ. The first trial by extension on a central point (add observation of five Deuteronomy) used to suggest first order of response model, second time used to determine the maximum surface response after the first attempt examined in Steepest Descent Method, while the third experiment laid out using composite design center with the nature of thoroughness uniform that used to suspect the surface model of second order. The determination of combination stationary dots to obtain maximum response surface is using canonical analysis. The result that showed the maximum model response of camber out is:

$$\hat{Y} = 125.340 + 0.739 X_1 + 2.008 X_2 + 1.074 X_1^2 + 0.370 X_2^2 - 0.589 X_1 X_2$$

From the model of maximum response camber out obtained at the stationary points is Machine temperature at 921.87°C and press time at 2.25 second will produce result height of Camber is 126.012mm.

Key Word : experiment design, surface response method, parabolic leaf spring, steepest descent method, cambering machine, Optimization, camber out, machine temperature, press time.